

IMPACTO DO DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO E BIOINSUMOS NA PRODUÇÃO MILHO NO SEGUNDO CICLO DE CULTIVO EM CONDIÇÃO SEMIÁRIDA

Danilo Batista Nogueira¹, Kleyton Chagas de Sousa², Rafaela da Silva Arruda³, Marlos Alves Bezerra⁴, Fernando Ferrari Putti⁵, Alexsandro Oliveira da Silva⁶

RESUMO: A cultura do milho possui grande importância socioeconômica no Nordeste do Brasil, no entanto, o déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes dessa cultura. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos da inoculação e coinoculação com *Bacillus aryabhatai* e *Azospirillum* brasileiro sobre a produção do milho. O estudo foi conduzido em campo, no município de Pentecoste, Ceará, Brasil. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. As parcelas foram: Irrigação plena, Irrigação com déficit regular; Irrigação com déficit controlado nas fases de: crescimento; florescimento e formação dos grãos; e enchimento de grão. Nas subparcelas, foram aplicados os tratamentos: inoculação com *B. aryabhatai*; *B. aryabhatai* + *A. brasileiro*; controle (ureia - 45% de N); controle negativo (sem aplicações). Avaliou-se as variáveis diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, massa fresca da espiga com palha e massa fresca da espiga sem palha. O déficit regular na fase de crescimento proporcionou a maior média para a variável diâmetro da espiga. O déficit regular na fase de crescimento pode ser utilizado em condições de escassez hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L., irrigação deficitária; bioinsumos.

¹ Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará - UFC, CEP: 60.455-760, Fortaleza, Ceará. Fone: (85) 3366-9756. E-mail: danilonogueira.agro@gmail.com

² Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

³ Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

⁴ Pesquisador, Doutor, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará.

⁵ Prof. Doutor, Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP, Tupã, São Paulo.

⁶ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

IMPACT OF CONTROLLED WATER DEFICIT AND BIOINPUTS ON CORN PRODUCTION IN THE SECOND CROP CYCLE IN SEMI-ARID CONDITIONS

ABSTRACT: Corn cultivation is of great socioeconomic importance in northeastern Brazil, but water scarcity is one of the main limiting factors for this crop. In this context, the present study aimed to analyze the effects of inoculation and co-inoculation with *Bacillus aryabhattai* and *Azospirillum brasilense* on corn production. The study was conducted in the field in the municipality of Pentecoste, Ceará, Brazil. The experimental design was randomized blocks in a split-plot scheme with four replicates. The plots were: full irrigation, irrigation with regular deficit, irrigation with controlled deficit in the phases of growth, flowering and grain formation, and grain filling. In the subplots, the following treatments were applied: inoculation with *B. aryabhattai*; *B. aryabhattai* + *A. brasilense*; control (urea - 45% N); negative control (no applications). The variables evaluated were ear diameter, number of grains per row, fresh ear mass with straw, and fresh ear mass without straw. Regular deficit in the growth phase provided the highest average for the ear diameter variable. Regular deficit in the growth phase can be used in conditions of water scarcity.

KEYWORDS: *Zea mays* L., déficit irrigation; bioinputs.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea Mays* L.) é uma das mais importantes no contexto global devido à sua versatilidade e às múltiplas aplicações nos setores alimentício, forrageiro e industrial. Sua relevância se dá tanto em regiões desenvolvidas quanto em países em desenvolvimento, sendo amplamente cultivada em função de sua alta capacidade produtiva e ampla adaptabilidade a diversos ambientes climáticos, incluindo o semiárido brasileiro (Duarte et al., 2016; Almeida et al., 2017). Entretanto, em regiões áridas e semiáridas, na cultura do milho, o déficit hídrico é identificado como um dos principais estresses abióticos que afetam negativamente a produtividade, especialmente em regiões áridas e semiáridas, como o semiárido brasileiro (Chai et al., 2016; Nogueira et al., 2023; Nogueira et al., 2024).

A escassez hídrica é um desafio para a agricultura em regiões semiáridas, sendo necessário estratégias para uma produção agrícola sustentável. Diante disto a técnica de irrigação com déficit regulado, consiste na redução da aplicação da água em uma determinada

fase fenológica da cultura produzida, aumentando a eficiência do uso da água e mantendo uma produtividade agrícola em condições de escassez de água (Silva et al., 2021).

Uma estratégia para mitigar o estresse hídrico em plantas são os bioinsumos como as bactérias promotoras de crescimento, no qual estimulam o desenvolvimento radicular e podem produzir fitormônios (hormônios vegetais), como auxinas e giberelinas, que estimulam o crescimento radicular e o desenvolvimento geral da planta, mitigando assim os impactos causados pela seca (Mandal et al., 2023). Tais estratégias combinadas podem auxiliar produtores na produção de culturas comerciais importantes como o milho, que apresenta tolerância moderada ao déficit hídrico, sendo necessário irrigações periódicas para uma produção sustentável.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo validar o uso combinado entre estratégias de déficit hídrico regulado e o uso de bioinsumos mediante análise das variáveis de produção no segundo ciclo de cultivo milho em condições semiáridas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em campo, na Fazenda Experimental Vale do Curu - FEVC, área de estudos vinculada ao Centro de Ciências Agrárias – CCA da Universidade Federal do Ceará – UFC, no período de setembro a dezembro de 2024. A fazenda está localizada no município de Pentecoste, Ceará, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 03° 49' 08" S e 39° 20' 02" W. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é quente e semiárido (BSw'h'), com chuvas irregulares que ocorrem de fevereiro a maio. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições, sendo avaliados diferentes manejos de irrigação (parcela) associados com quatro manejos de aplicação de bioinsumos (subparcelas). Os manejos da irrigação foram distribuídos nas parcelas e definidos da seguinte maneira: I - Irrigação plena (IP), com a aplicação de 100% das necessidades hídricas da cultura ao longo de todo o ciclo; II - Irrigação com déficit regular (IDR50%), fornecendo 50% das necessidades hídricas da cultura durante todo o ciclo; III - Irrigação com déficit controlado (IDCV50%), fornecendo 50% das necessidades hídricas da cultura durante a fase de crescimento vegetativo; IV - Irrigação com déficit controlado (IDCF50%), fornecendo 50% das necessidades hídricas na fase de florescimento e formação dos grãos; V - Irrigação com déficit controlado na fase de enchimento de grão (IDCE50%), fornecendo apenas 50% das necessidades hídricas nesta fase. Nas subparcelas, foram aplicados os tratamentos com

bioinsumos promotores de crescimento, da seguinte forma: inoculação com *Bacillus aryabhatai*; coinoculação com *B. aryabhatai* + *A. brasilense*, realizada simultaneamente via tratamento de sementes com a aplicação conjunta dos dois inoculantes; controle positivo, com adição de nitrogênio mineral (ureia - 45% de N - na dose recomendada conforme a análise do solo), todavia sem a aplicação de bioinsumos; e controle negativo, sem uso de nitrogênio mineral ou inoculação. A parcela experimental ocupou uma área de 28,16 m² e as subparcelas 7,04 m² cada. Cada subparcela foi composta por 42 plantas distribuídas em 7 fileiras, sendo consideradas úteis as 6 plantas centrais da parcela, enquanto as demais foram usadas como bordadura.

O sistema de irrigação instalado foi do tipo localizado por gotejamento, utilizando fita gotejadora com diâmetro de 16 mm, vazão de 1,6 L h⁻¹, pressão de serviço de 10 mca e espaçamento entre emissores de 0,30 m. O manejo da irrigação foi realizado via clima com auxílio de um Tanque Classe A, instalado próximo à área experimental. Para tanto, determinou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo produto da evaporação do tanque (ECA) e coeficiente do tanque (K_p). A colheita ocorreu aos 104 dias após a semeadura (DAS) no qual avaliou-se o diâmetro da espiga (DE), número de grãos por fileira (NGF), massa fresca da espiga com palha (MFC) e massa fresca da espiga sem palha (MFS).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk em seguida foi realizada a análise de variância pelo teste F, ocorrendo efeito significativo ($p \leq 0,05$), estas foram comparadas pelas as médias obtidas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$), através do software R versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2022). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 12.5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No segundo ciclo não se verificou efeito significativo da interação dos fatores testados sobre a produção da cultura do milho. Todavia as variáveis de crescimento, diâmetro da espiga (DE), número de grãos por fileira (NGF), massa fresca da espiga com palha (MFC) e massa fresca da espiga sem palha (MFS), foram influenciadas de forma isolada pelo fator irrigação.

Conforme pode-se observar na Figura 1, o manejo da irrigação conforme IDC_V50% proporcionou a maior média para a variável diâmetro da espiga, em termos absolutos, sendo esta estatisticamente igual aos manejos IP, IDR50% e IDC_F50%, indicando a possibilidade de cultivo da cultura com economia de água, sem comprometer a formação da espiga. Além da

estabilidade do diâmetro da espiga nos tratamentos com déficit hídrico na fase vegetativa, conforme apresentado na Figura 1, é relevante considerar que essa variável pode refletir não apenas a tolerância da planta ao estresse, mas também o efeito acumulado de adaptações fisiológicas, como maior desenvolvimento radicular ou ajustes na condutância estomática.

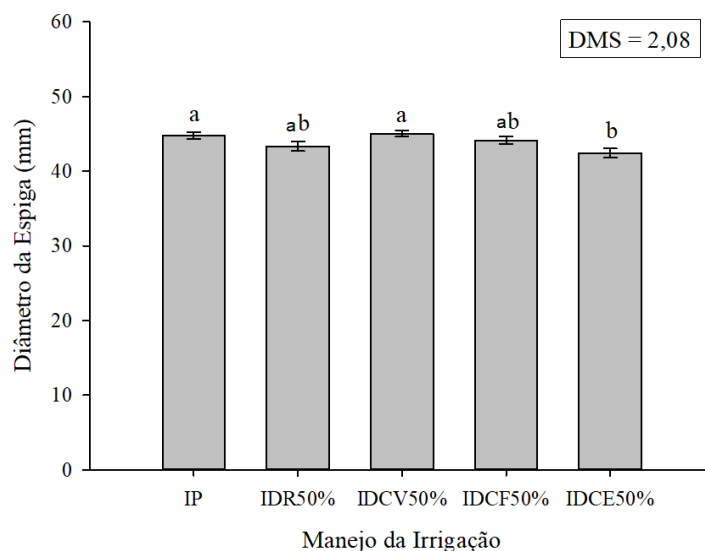


Figura 1. Diâmetro da espiga de milho sob diferentes estratégias de manejo da irrigação no segundo ciclo (2024). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

O número de grãos por fileira também respondeu de forma significativa e isolada ao fator irrigação. Na Figura 2 a seguir consta a comparação das médias para essa variável em função do manejo de irrigação empregado. O número de grãos por fileira constitui-se em um componente importante na caracterização do desenvolvimento do milho, influenciando diretamente o rendimento final da cultura. Esse comportamento reforça o caráter crítico dessas fases para a formação reprodutiva do milho, uma vez que o estresse hídrico nesse período compromete diretamente a fecundação e o enchimento inicial dos grãos. Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2021) e Bergamaschi et al. (2004), os quais identificaram sensível queda no rendimento da cultura quando submetida à restrição hídrica no intervalo entre o pendoamento e o início da granação. Esses achados demonstram que, mesmo diante do uso de bioinsumos, o manejo hídrico adequado durante esse intervalo permanece determinante para assegurar a formação dos grãos e o desempenho agrônomo da cultura.

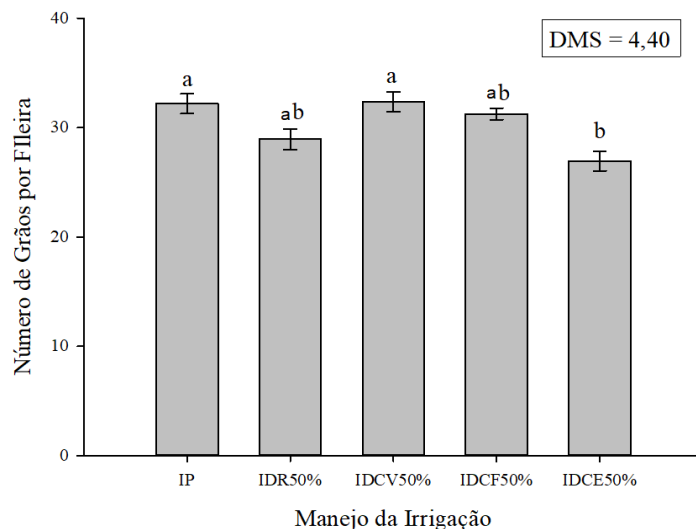


Figura 2. Número de grãos por fileira (NGF) na cultura do milho sob diferentes estratégias de manejo da irrigação no segundo ciclo (2024). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Nas Figuras 3A e 3B a seguir pode-se verificar, respectivamente, o comportamento das variáveis massa fresca da espiga com palha (MFC) e massa fresca da espiga sem palha (MFS) em função dos diferentes manejos de irrigação estudados.

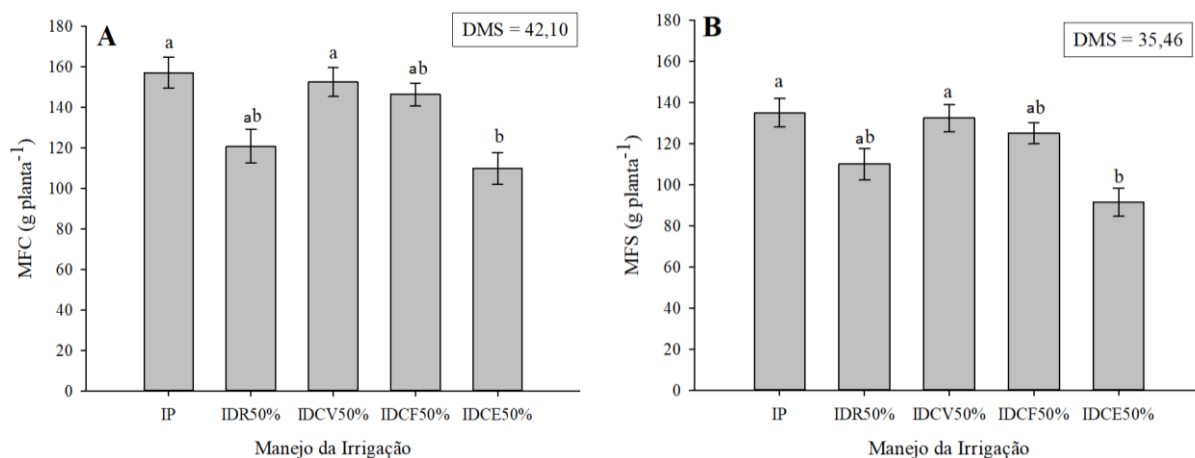


Figura 3. Massa fresca da espiga com palha (A) e sem palha (B) de milho sob diferentes estratégias de manejo da irrigação no segundo ciclo (2024). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

A massa de espiga, tanto com quanto sem palha, são importantes indicadores dos níveis de desempenho da cultura do milho. De modo geral, os resultados verificados para MFC e MFS alinham-se à tendência observadas para as demais variáveis significativas. Influência significativa do manejo da irrigação com diferentes níveis de déficit podem ser verificados também em Silva et al. (2021) e Bastos et al. (2017). Plantas de milho sob condições de restrição hídrica apresentaram um bloqueio da absorção de açúcar pelos grãos, o que reduziu o peso do

grão mais nas regiões apicais da espiga (Yao et al., 2024). Esta observação está de acordo com os resultados do presente estudo, no qual o déficit hídrico regular durante todo o ciclo impactou negativamente nos parâmetros de produção (Figuras 1, 2 e 3), possivelmente, por alterar o fluxo fonte-dreno, afetando assim a translocação dos fotoassimilados dentro da planta.

CONCLUSÕES

O uso de bioinsumos combinado entre as estratégias de déficit hídrico regulado não se apresentaram como opção viável nas condições do presente estudo. A estratégia de irrigação com déficit regulado na fase de crescimento pode ser utilizada em condições de escassez hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento (Processo N° 406288/2022-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C. S.; BONIFÁCIO, J.; PUSCH, M.; OLIVEIRA, F. C.; GESEINHOFF, L. O.; BISCARO, G. A. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1148-1457, 2017.
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FÁBIO NUNES DO NASCIMENTO, F. N.; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94-108, 2017.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

DUARTE, E. C. C.; GONÇALVES, A. C. M.; TORRES, M. N. N.; SIMPLÍCIO, S. F.; RIBEIRO, R. X.; SOUZA, R. F.; SOUZA JÚNIOR, S. P. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **AGROTEC**, v. 37, n. 1, p. 71-80, 2016.

NOGUEIRA, D. B.; SILVA, A. O.; GIROLDO, A. B.; SILVA, A. P. N.; COSTA, B. R. S. Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity. **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104892, 2023.

NOGUEIRA, D. B.; SILVA, A. O.; SOUSA, A. M.; COSTA, B. R. S.; ARRUDA, R. S.; PUTTI, F. F. Cropping calendar, agroclimatic and agroecological zoning for rainfed maize (*Zea mays* L.) under different rainfall scenarios in a semi-arid region of Brazil. **Crop & Pasture Science**, v. 75, p. 1-12, 2024.

SILVA, S.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, C. S.; ARAÚJO, E. R.; SOARES, M. A. S.; TEODORO, I. Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 30-41, 2021. CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 3, 2016.

YAO, X. Y., WEI, C. H., YANG, L., ZHOU, Y. N., CHEN, Z. Y., ZHOU, S. L., CEN., X. M., SHEN, S. Hindered translocation of sugars within maize ear reduces grain weight under drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 226, p. 105900, 2024.